

# 高温好気法における高濃度有機廃棄物処理過程のモデル化と最適制御に関する研究

著者	田 庚昊
号	50
学位授与番号	3504
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/37172">http://hdl.handle.net/10097/37172</a>

氏 名	ジョン キョオンホ
授 与 学 位	博士（工学）
学 位 授 与 年 月 日	平成 17 年 9 月 14 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 4 条第 1 項
研究科，専攻の名称	東北大学大学院工学研究科（博士課程）土木工学専攻
学 位 論 文 題 目	高温好気法における高濃度有機廃棄物処理過程のモデル化と最適制御に関する研究
指 導 教 員	東北大学教授 西村 修
論 文 審 査 委 員	主査 東北大学教授 西村 修 東北大学教授 大村 達夫 東北大学助教授 李 玉友 東北大学助教授 中野 和典

## 論文内容要旨

現代の社会経済活動は、大量生産・大量消費に加えて大量廃棄に象徴され、生産や消費の結果として大量の廃棄物や排ガス、排水が発生し、その行き先である土壌や大気や水域などの汚濁が進んでいる。未来に向けて持続可能な社会を形成していくためには、大量生産、大量消費・大量廃棄に支えられた社会のあり方そのものを見直す必要があり、またより効率のよい処理システムを構築することが急務である。

日本の平成 14 年度における一般廃棄物および産業廃棄物の排出量はそれぞれ年間 5,161 万トンと 39,300 万トンで、近年その排出量は横ばい傾向が続いている。産業廃棄物の約 22.8%を占める家畜糞尿は、その総排出量が 8,980 万トンにも及び、既に農地の受容能力の限界に達したと推定されている。家畜の総飼育頭数はここ数年減少してきているが、経営形態が大規模・集約化し、大量の家畜糞尿が特定地域に集積するため、環境・衛生上の問題が懸念されており、家畜糞尿の確実な処理・有効利用が求められている。

このような背景から、豚舎廃棄物をはじめ高濃度有機廃棄物の効率的な処理のために開発された高温好気法は高度な減量化を可能とする処理法として注目を集めているが、有機物の完全分解、水分の完全蒸発を同時に達成するためには有機物の性状に対応して有機物負荷、水分負荷の両者を最適に制御する必要がある。これまで、高温好気法の機構解明が不十分で実験的に適正条件を求めざるを得なかった。そこで本研究では高温好気法シミュレーションモデルの構築およびシミュレーションによる最適制御手法開発を目的として研究を行った。本論文は全 7 章で構成されている。

第 1 章「総論」では、本研究の背景および目的について述べた。

第 2 章「高濃度有機廃棄物の処理に関する既往の研究」では、韓国、日本、米国における畜産廃棄物の発生、処理の現状と処理方法をまとめるとともに、高温好気法による畜産廃棄物の処理に関する既往の研究を整理した。そして、研究の課題を抽出した。

第 3 章「高温好気法シミュレーションモデルの構築」では、まずシミュレーションモデル構築における基本的な考え方について説明した。さらに、モデルの構成要素となる熱、水、炭素の生成および損失に

関するサブモデルを構築し、各サブモデルを結合した高温好気法シミュレーションモデルの構造について説明した。

第4章「高温好気法シミュレーションモデルのパラメータ値の推定」では、3章で構築したシミュレーションモデルの各パラメータの推定方法を示すとともに、特に有機物分解速度式のパラメータについては  $O_2$ UpTester を用いて実験的に求め、アレニウス式から理論的考察を行った。

この実験の結果、豚舎廃棄物を処理対象物とした高温好気法における処理速度が温度と含水率に大きな影響を受けると(図1, 2), そして、温度と処理速度の関係が Arrhenius の式を援用してまとめられること、すなわち、温度が高くなると微生物による有機物の分解速度も早くなるが、さらに高温になると微生物の失活によって分解速度も低くなることを定式化した。また、含水率も温度と同様に有機物分解速度を高める範囲があることを明らかにした。そして、豚舎廃棄物は温度 60℃, 含水率 60% で、食用油は温度 60℃, 含水率 50% で最も分解が進むことが分かり、温度と含水率を関数とした有機物分解速度方程式を示した。また、豚舎廃棄物の分解速度が食用油の分解速度より速いことから豚舎廃棄物が食用油よりも易分解性有機物を多く含むことが推測できた。これらの結果から、高温好気法において高温を維持することが、水分の蒸発に必要なだけでなく、高い反応速度の維持に不可欠であることを工学的に整理することが可能となった。

第5章「高温好気法シミュレーションモデルの検証」では、高温好気法実験装置(図3)を用いて、投入有機物の含水率、補助熱源の投入量などの条件が処理に及ぼす影響について実験を行い、その結果をシミュレーション結果と比較した。その結果、シミュレーション結果はほぼ実験結果を再現し、モデルの妥当性が確認された。さらに、有機物の完全分解と水分の完全蒸発を実現した条件と理論的な計算値を比較して、実験的には解析できない処理 1 サイク

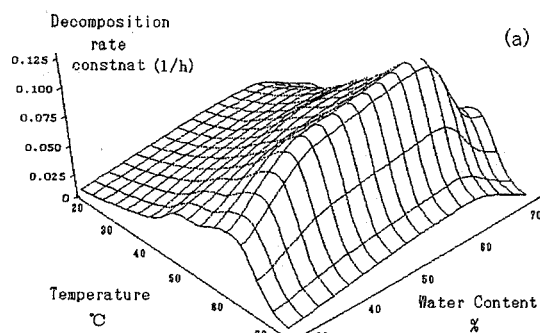


図1. 温度と含水率の変化による分解速度定数の変化(豚舎廃棄物)

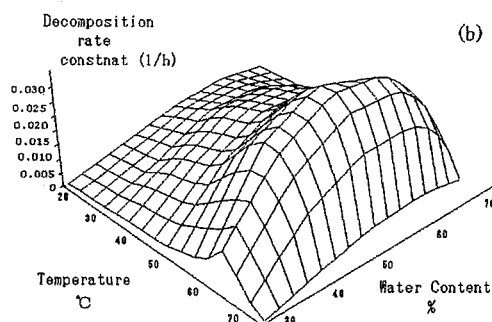


図2. 温度と含水率の変化による分解速度定数の変化(食用油)

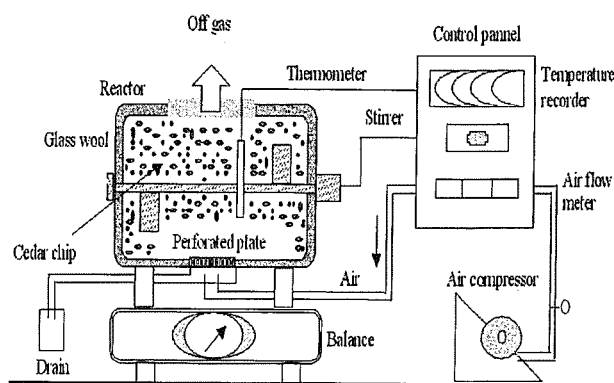


図3. 高温好気法ベンチスケール実験装置構造

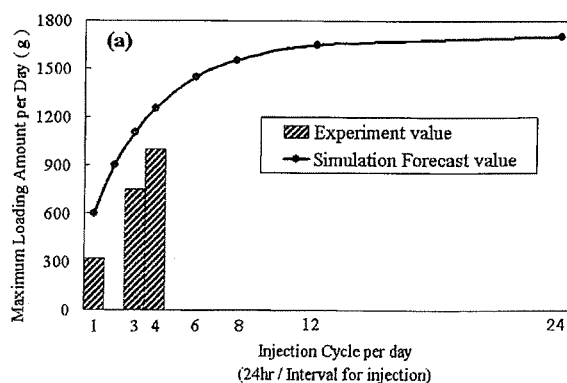


図4. 投入間隔短縮による最大処理量の変化

ルにおける水、熱、有機物収支を評価した。

また、投入間隔に着目し、投入間隔の違いが処理性に及ぼす影響について検討した。実験的に有機廃棄物の投入間隔短縮による処理量の増加可能性を検討した結果、24 時間サイクルより 8 時間、6 時間サイクルの場合、多量の処理が可能であることが分かった。また、補助熱源の投入量を変化させながら実験を行った結果、補助熱源の投入量が少ないと水分の完全蒸発が行われず、含水率の増加によって反応が進まないこと、補助熱源の投入量が多いと、過剰の生成熱量のために水分が蒸発し過ぎてリアクター内の含水率は低くなり、反応が進まないことが分かった。これらの実験結果もシミュレーションによって良好に再現され、本モデルは処理性予測に十分な精度をもつことが確認された。

第 6 章「シミュレーションによる反応過程の分析と高効率化解析」では、シミュレーションによる高温好気法の処理性予測の結果、豚舎廃棄物のみの投入の場合は、有機物の分解と水分の蒸発に必要な熱量より生成熱量が足りないで水分の蓄積が発生し、反応が進まなかった。さらに、豚舎廃棄物の投入量が減少すると生成熱量も減少することから、反応が進まないことが分かった。また、豚舎廃棄物の含水率を 63% まで減らすと、有機物分解と水分の蒸発に必要な熱量と生成熱量のバランスが適正となり反応が進むことが示された。

一方、補助熱源の添加による熱量供給によって含水率 90% の豚舎廃棄物の場合、前処理が無くても完全分解と完全蒸発が可能なが実験とモデル計算によって分かった。このことから、補助熱源の最小添加量と処理可能な投入範囲を検討した結果、最小 15% の補助熱源を添加すると、完全分解、完全蒸発の反応が進むことが予測された。補助熱源の添加量が増加すると、含水率の減少によって少しずつ有機物が蓄積し、反応停止の時期が早まることが明らかになった。

有機廃棄物の投入間隔短縮による処理の最大化をシミュレーション解析によって検討した結果、投入間隔が短縮されると処理量が増加する傾向が再現できた。(図 4) そこで、24 時間サイクルで 400 g の処理が可能な豚舎廃棄物を 1 時間投入サイクルで処理すると、約 3.5 倍の処理量の増加をもたらすことが分かった。投入間隔が短縮されると、リアクター内部が高温に維持されるので処理量は増加するが、60℃ 以上になると、有機物の分解速度が低くなるので、投入間隔が短縮されても処理量の増加には限界があり、およそ 8 時間投入サイクルにすることが高効率化をもたらすことが示唆された。

第 7 章「総括および結論」では、本研究で得られた知見を総括として示し、地域社会における高温好気法の位置づけについてまとめた。

本研究により、高温好気法の実用化の可能性が示されるとともに今後の技術的検討課題が明らかとなった。また、構築したシミュレーションモデルは生ゴミ、活性汚泥などへも適応できるため、高温好気法の技術的可能性を大きく広げると考える。

しかしながら、本法を用いて環境保全を進めるには、単に廃棄物処理を行うという視点から資源循環型社会システムを構築することを目的として技術開発を進めるべきである。すなわち、高温好気法の処理対象を拡大すれば、地域社会内で発生する高濃度有機廃棄物のみならず、補助熱源や担体として利用可能な他の廃棄物とともに処理および再利用するシステムが実現できると考えられる。さらに、高濃度有機廃棄物の問題を処理・処分の問題としてとらえるだけでなく、その資源化・有効利用による資源循環型社会システムを構築し、ゼロエミッション化を進めるうえで極めて価値ある技術と考えられる。

# 論文審査結果の要旨

産業廃棄物の大部分を占める畜産廃棄物は、水質汚濁や悪臭といった環境問題の直接的な原因となっており、より効率のよい処理システムを構築することが急務である。高温好気法は高度な減量化を可能とする処理法として注目を集めているが、有機物の完全分解、水分の完全蒸発を同時に達成するためには有機物の性状に対応して有機物負荷、水分負荷の両者を最適に制御する必要がある、このための合理的手法としてシミュレーションモデルの開発が課題であった。

本論文は、高温好気処理過程における熱、水、炭素の挙動を表すシミュレーションモデルを構築し、このモデルを用いて高温好気処理反応の機構を理論的に解析し、制御条件などの影響を調べ、補助熱源の最適投入量、豚舎廃棄物の最大処理量等に関するシミュレーション解析を行ったもので、全編7章からなる。

第1章「総論」では、本研究の背景および目的について述べている。

第2章「高濃度有機廃棄物の処理に関する既往の研究」では、韓国、日本、米国における畜産廃棄物の発生、処理の現状をまとめるとともに、高温好気法による畜産廃棄物の処理に関する既往の研究を整理し、研究課題の整理を行っている。

第3章「高温好気法シミュレーションモデルの構築」では、モデルの構成要素となる熱、水、炭素の生成および損失に関するサブモデル構築し、各サブモデルを結合して高温好気法シミュレーションモデルを開発した。本モデルは投入有機物の性状(TC濃度、含水率、有機物負荷)、投入量、投入間隔、補助熱源の投入割合などの条件に合わせて、リアクター内の微生物反応とこれによるリアクター内の温度と水分条件の変化を予測できるものであり、これは本研究における新規かつ有用な成果である。

第4章「高温好気法シミュレーションモデルのパラメータ値の推定」では、3章で構築したシミュレーションモデルの各パラメータの推定方法を示すとともに、特に有機物分解速度式のパラメータについては値を実験的に求め、アレニウス式から理論的考察を行った。そして各有機物は分解がよく進む固有の条件を持ち、有機物分解速度は温度と含水率の関数として表現できること、有機物分解反応は至適温度が60℃となり、それ以上では熱失活による急激な反応速度の低下が起こることを明らかにした。これは重要な知見である。

第5章「高温好気法シミュレーションモデルの検証」では、補助熱源の投入量、投入有機物の含水率、投入間隔などの条件が処理に及ぼす影響について実験を行い、その結果をシミュレーションモデルによる予測結果と比較してモデルの妥当性を証明した。さらに、処理過程での水、熱、有機物収支を解析し、有機物の完全分解、水分の完全蒸発を同時に達成する制御方法を予測・提示することができた。これらは新しい重要な知見である。

第6章「シミュレーションによる反応過程の分析と高効率化解析」では、シミュレーションモデルによる理論的解析から豚舎廃棄物の含水率減少の処理性に及ぼす影響、廃棄物の性状に対応した最適補助熱源添加量を評価するとともに、有機廃棄物の投入間隔短縮による処理量増加の効果を解析し、さらにその一部は実証実験によって予測結果と一致することを確認した。これらは新しい重要な知見である。

第7章「総括および結論」では、本研究で得られた知見を総括として示し、地域社会における高温好気処理法の位置づけについてまとめた。

以上要するに本論文は、高温好気法のシミュレーションモデルを開発し、高濃度有機廃棄物の高温好気処理における最適制御を理論的に行う新しい方法を提案したもので、環境工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。